

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 821 917**

②1 N° d'enregistrement national :

**01 03208**

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : F 16 L 59/14

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

**A1**

②2 Date de dépôt : 09.03.01.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 13.09.02 Bulletin 02/37.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : *BOUYGUES OFFSHORE Société  
anonyme — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : HALLOT RAYMOND, ROCHER  
XAVIER et NGUYEN XUAN CHI.

⑦3 Titulaire(s) :

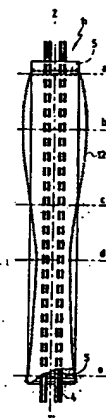
⑦4 Mandataire(s) : BEAU DE LOMENIE.

⑤4 DISPOSITIF D'ISOLATION THERMIQUE D'AU MOINS UNE CONDUITE SOUS-MARINE COMPRENANT DES  
CLOISONS ETANCHES.

⑤7 La présente invention est relative à un dispositif d'iso-  
lation thermique (1) d'au moins une conduite sous-marine  
(4) comportant :

- un revêtement isolant thermique (3) entourant ladite ou  
lesdites conduite (s) (3),
- ledit revêtement étant recouvert d'une enveloppe étan-  
che de protection (2), et
- ladite enveloppe étant de forme tubulaire et présentant  
un axe longitudinal de symétrie (ZZ'),
- ledit revêtement isolant (3) comprenant un matériau  
sujet à migration, et ladite enveloppe (2) étant constituée  
d'un matériau souple ou semi-rigide apte à rester au contact  
de la surface extérieure dudit revêtement isolant (3) lorsque  
celui-ci se déforme.

Dispositif caractérisé en ce qu'il comprend au moins  
deux cloisons transversales étanches (5), chacune desdites  
cloisons étant constituées d'une pièce rigide fermée traver-  
sée par la ou lesdites conduite (s), et solidaire de celle (s)-  
ci, et solidaire, à sa périphérie, de ladite enveloppe.



FR 2 821 917 - A1



BEST AVAILABLE COPY

**Dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite  
sous-marine comprenant des cloisons étanches**

La présente invention concerne des dispositifs et procédés d'isolation  
5 thermique d'au moins une conduite sous-marine à grande profondeur.

Elle concerne plus particulièrement les conduites reliant le fond de la mer à des  
installations ancrées flottant en surface.

Le secteur technique de l'invention est le domaine de la fabrication et du  
montage de systèmes d'isolation à l'extérieur et autour des conduites dans lesquelles  
10 circulent des effluents chauds dont on veut limiter les déperditions de chaleur.

Cette invention s'applique plus particulièrement aux développements de  
champs pétroliers en mer profonde, c'est à dire des installations pétrolières installées  
en pleine mer, dans lesquelles les équipements de surface sont en général situés sur  
des structures flottantes, les têtes de puits étant au fond de la mer. Les conduites  
15 concernées par la présente invention étant plus particulièrement les risers ou  
conduites de liaison fond-surface remontant vers la surface, mais aussi les conduites  
reliant les têtes de puits auxdites conduites de liaisons fond surface.

Les développements en mer profonde sont effectués par des profondeurs  
d'eau atteignant actuellement 1500 m. Les développements futurs sont envisagés par  
20 des profondeurs d'eau jusqu'à 3000-4000m et au delà.

L'application principale de l'invention est l'isolation thermique de conduites ou  
canalisations immergées, sous-marines ou subaquatiques, et plus particulièrement à  
grande profondeur, au-delà de 300 mètres, et véhiculant des produits pétroliers  
chauds dont un trop grand refroidissement serait problématique aussi bien en régime  
25 de production normale qu'en cas d'arrêt de production.

En effet dans ce type d'applications, de nombreux problèmes se posent si la  
température des produits pétroliers diminue d'une valeur significative importante par  
rapport à leur température de production qui est souvent au-delà de 60 à 80°C alors  
que la température de l'eau environnante surtout à grande profondeur peut être  
30 largement inférieure à 10°C et atteindre 4°C. Si les produits pétroliers se refroidissent

par exemple en dessous de 30° à 60°C pour une température initiale de 70 à 80°C on observe en général :

- une forte augmentation de la viscosité qui diminue alors le débit de la conduite,
- 5        - une précipitation de paraffine dissoute qui augmente alors la viscosité du produit et dont le dépôt peut diminuer le diamètre intérieur utile de la conduite,
- la floculation des asphaltènes induisant les mêmes problèmes,
- la formation soudaine, compacte et massive d'hydrates de gaz qui précipitent à forte pression et faible température, obstruant ainsi brusquement la conduite.
- 10       Paraffines et asphaltènes restent accrochés à la paroi et nécessitent alors un nettoyage par raclage de l'intérieur de la conduite ; en revanche, les hydrates sont encore plus difficiles, voire même parfois impossibles à résorber.

L'isolation thermique de telles conduites a donc pour fonction de retarder le refroidissement des effluents pétroliers véhiculés non seulement en régime de production établi, pour que leur température soit par exemple d'au moins 40°C en arrivant en surface, pour une température de production à l'entrée de la conduite de 70°C à 80°C, mais également en cas de diminution ou même d'arrêt de la production, afin d'éviter que la température des effluents ne descende par exemple en dessous de 30°C, afin de limiter les problèmes ci-dessus, ou tout au moins de permettre de les rendre réversibles.

Dans le cas de l'installation de conduites uniques ou de faisceaux de conduites (appelés communément « bundles »), on préfère en général préfabriquer lesdites conduites à terre en longueurs unitaires de 250 à 500 m, que l'on tire ensuite depuis le large à l'aide d'un remorqueur. Dans le cas d'une liaison fond-surface de type tour, la longueur de conduite représente en général de 50 à 95% de la hauteur d'eau, c'est à dire qu'elle peut atteindre 2400m pour une profondeur d'eau de 2500m. Lors de sa fabrication à terre, on tire depuis la mer la première longueur unitaire que l'on raboute à la suivante, le remorqueur maintenant l'ensemble en traction pendant la phase de raboutage, laquelle peut durer plusieurs heures, voire plusieurs jours. Lorsque l'intégralité de la conduite ou du faisceau de conduites a été mis à l'eau, l'ensemble est remorqué vers le site, en général en subsurface, sensiblement à l'horizontale, où il est

alors « cabané », c'est à dire basculé en position verticale, pour atteindre la position verticale, puis il mis en place en position définitive.

On connaît un dispositif d'isolation d'au moins une conduite sous marine (qui peut être en effet seule ou assemblée avec d'autres conduites, constituant alors ce  
5 que l'on appelle des « bundles » ou des « faisceaux »), destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant un revêtement extérieur isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection.

L'isolation de la ou des conduites ou du faisceau de conduite communément dénommé « bundle » est alors protégée par une enveloppe extérieure qui a une  
10 double fonction :

- d'une part d'éviter les endommagements qui peuvent se produire lors de la fabrication ou lors du remorquage comme lors de la pose, surtout dans les zones de faible profondeur d'eau, ledit remorquage pouvant dans certains cas se faire sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres. A cet effet, on utilise des matériaux  
15 assez résistants tels qu'en acier, en composé thermoplastique ou thermodurcissable ou encore en matériau composite ;

- d'autre part de créer un confinement étanche autour du système d'isolation. Ce confinement est nécessaire dans le cas de revêtements extérieurs isolants constitués de matériaux sujets à migration, voire comprenant des composés fluides.

20 En effet, par des fonds de 2000 m, la pression hydrostatique est de l'ordre de 200 bars, soit 20 Méga Pascals, ce qui implique que l'ensemble des conduites et de leur revêtement en matériau isolant doit être capable de résister non seulement à ces pressions sans dégradation lors des pressurisations et dépressurisations de la conduite dans laquelle circule le fluide chaud, mais encore aux cycles de température  
25 lesquels engendrent des variations de volume des différents composants, et donc de pressions positives ou négatives pouvant conduire à la destruction partielle ou totale de l'enveloppe soit par dépassement des contraintes admissibles, soit par implosion de cette enveloppe externe (variations de pression interne négatives).

On connaît le procédé et le dispositif décrits dans le brevet FR99/00985 et WO  
30 00/40886, qui décrit un matériau d'isolation à changement de phase solide-liquide et chaleur latente de fusion, capable de restituer des calories à la conduite interne, et

confiné au sein d'une enveloppe étanche et déformable, ce qui la rend capable de suivre l'expansion et la contraction des divers composants sous l'influence de tous les paramètres d'environnement, dont les températures interne et externe. La conduite est ainsi soit confinée au sein d'une enveloppe souple thermoplastique, notamment en

5 polyéthylène ou polypropylène, par exemple circulaire, l'accroissement ou la réduction du volume intérieur, dû aux variations de température, comparable à une respiration est absorbée par la souplesse de l'enveloppe constituée par exemple d'un matériau thermoplastique présentant une grande limite élastique. Pour résister aux contraintes

10 mécaniques, on utilise de préférence une enveloppe semi-rigide constituée d'un matériau résistant tel l'acier ou un matériau composite, tel qu'un composé réalisé à partir d'un liant tel qu'une résine époxy et des fibres minérales ou organiques telles que des fibres de verre ou de carbone, mais alors on donne au faisceau une forme ovoïde ou aplatie, avec ou sans contre-courbure, ce qui lui confère, à périmètre constant, une section inférieure au cercle correspondant. Ainsi, la « respiration » du

15 faisceau, conduira, dans le cas d'une augmentation et d'une réduction du volume, respectivement à une « remise au rond » de l'enveloppe, ou à une accentuation de l'aplatissement de ladite enveloppe. Dans ce cas, l'ensemble faisceau-enveloppe est désignée par le terme « bundle plat », par opposition à une enveloppe circulaire.

On connaît aussi le procédé utilisé sur le champ de GANET, qui consiste à

20 préfabriquer à terre un bundle circulaire étanche, vide de complexe isolant, mais rempli d'un gaz inerte, puis à le remorquer sur site et à l'installer en grande profondeur, pour enfin le remplir d'un composé isolant à base de mono-éthylène glycol additionné d'agents viscosifiants. Pour absorber les variations de volume créées par les variations de température, sans créer de contraintes inacceptables dans l'enveloppe

25 circulaire en acier, une conduite déformable, pressurisée à l'azote a été installée au sein du bundle, tout le long de ce dernier.

Ces réalisations antérieures ont été décrites pour des applications dans lesquelles la conduite repose horizontalement sur le fond de la mer.

Dans le cas d'une liaison fond-surface, par exemple la portion verticale d'une

30 tour ou encore la section en chaînette reliant le sommet de la tour au support de surface, ou encore des conduites reposant sur une forte déclivité du fond de la mer, la pression extérieure varie le long de la conduite et décroît au fur et à mesure que l'on remonte vers la surface. Dans le cas de matériaux isolants pâteux ou fluides, ce

demier présentant une densité inférieure à celle de l'eau de mer, en général une densité de 0.8 à 0.85, la pression différentielle entre l'extérieur et l'intérieur variera le long de la dite conduite, augmentant au fur et mesure que l'on monte vers la surface. Ainsi, il s'en suit des déformations accentuées dans les parties présentant le maximum de pression différentielle, induisant ainsi d'importants transferts de fluide parallèlement à l'axe longitudinal de ladite conduite. En outre, les transferts sont amplifiés par les phénomènes de « respiration » dus aux variations de température tels que décrits ci-dessus.

Un « bundle plat » est sensible aux variations de pression dues aux déclivités :  
10 surpression en bas, dépression en haut, et la phase de remorquage est critique, car la longueur pouvant atteindre plusieurs kilomètres, le « bundle » n'est en fait jamais parfaitement à l'horizontal et il en résulte des variations de pression différentielle importantes lors dudit remorquage et surtout lors de l'opération de cabanage.

Quand le « bundle » est en position verticale ou au fond de la mer sur une  
15 déclivité importante, le différentiel de pression créé par la faible densité du matériau isolant, associé à la variation de volume créée par l'expansion thermique du matériau isolant, engendre des mouvements du matériau isolant que doit pouvoir supporter l'enveloppe extérieure. On cherche à éviter les mouvements de particules parallèlement à l'axe du bundle, c'est à dire les migrations de matériau isolant entre  
20 deux zones distantes du « bundle », car ils risquent de détruire la structure proprement dite du matériau isolant.

Pour que le « bundle » ait un bon comportement pendant toute sa durée de vie, il est souhaitable qu'il ne comporte pas de gaz résiduel. En effet, dans le cas de complexe isolant pâteux ou semi-fluide, toute poche de gaz résultant du processus de  
25 fabrication aura des répercussions, d'une part sur le transport, car, dès que le « bundle » est en remorquage à profondeur importante, la pression ambiante comprime le gaz résiduel, ce qui risque de réduire de manière significative la flottabilité, pouvant ainsi conduire à des situations dangereuses non seulement pour les matériels mais aussi pour le personnel ; d'autre part, lors de la mise en position  
30 verticale, toutes les poches de gaz comprimé se rassemblent vers le haut du « bundle », risquant ainsi de créer une longueur significative de conduite dépourvue de composant isolant.

Le but de la présente invention est de pouvoir fabriquer au meilleur coût un « bundle » à terre, de pouvoir mettre en place un revêtement en matériau isolant de type semi-fluide ou pâteux, de le remorquer en subsurface, de le cabaner en position verticale pour l'installer, tout en respectant l'intégrité de l'ensemble jusqu'à sa mise en  
5 production et pendant toute sa durée de vie, qui dépasse en général 30 années.

Un autre but est de pouvoir réaliser une isolation d'au moins une conduite sous-marine destinée à être posée sur le fond, en particulier à grande profondeur, en particulier dans des zones à forte déclivité, à partir d'une enveloppe de type « bundle plat » étanche, capable de fournir une souplesse transversale importante pour  
10 absorber les variations de volume, tout en conservant une rigidité longitudinale suffisante pour autoriser les manutentions, telles la préfabrication à terre, le remorquage vers le site, et la conservation de l'intégrité mécanique de ladite enveloppe pendant toute la durée de vie du produit, laquelle atteint et dépasse 30 ans.

Le problème posé est donc de minimiser les migrations longitudinales des  
15 matériaux isolants sujets à migration, ce qui est particulièrement important dans le cas où ledit matériau isolant est semi-fluide ou pâteux notamment du type matrice isolante gélifiée, en raison des risques de dégradation des performances du complexe isolant dès lors que des cisaillements internes inconsiderés sont appliqués à ladite matrice isolante.

20 Pour ce faire, la présente invention a pour objet un dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine comportant :

- un revêtement isolant thermique entourant ladite ou lesdites conduite(s),
- ledit revêtement étant recouvert d'une enveloppe étanche de protection, et
- ledit revêtement isolant comprenant un matériau sujet à migration, et ladite  
25 enveloppe étant constituée d'un matériau souple ou semi-rigide apte à rester au contact de la surface extérieure dudit revêtement isolant lorsque celui-ci se déforme,
- ladite enveloppe étant de forme tubulaire et présentant un axe longitudinal central ZZ', et de préférence, la section transversale de ladite enveloppe définissant un périmètre présentant deux axes de symétrie XX' et YY' perpendiculaires entre eux,  
30 et audit axe longitudinal ZZ',

Selon sa caractéristique principale, le dispositif selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux cloisons transversales étanches, chacune desdites cloisons étant constituées d'une structure rigide fermée traversée par la ou

lesdites conduite(s) et solidaire de celle(s)-ci, et solidaire, à sa périphérie, de ladite enveloppe.

Cette structure rigide solidaire de l'enveloppe empêche le déplacement de ladite enveloppe en regard de ladite cloison et par rapport à celle-ci et fige donc la  
5 géométrie de la section transversale de l'enveloppe au niveau de ladite cloison.

On entend par « étanche » et « fermé » que ladite cloison ne permet pas le passage de la matière constituant ledit revêtement isolant à travers ladite cloison, et qu'en particulier, la jonction entre ladite conduite et les orifices à travers lesquels ladite conduite traverse ladite cloison ne permet pas le passage de ladite matière du  
10 revêtement isolant.

Lesdites cloisons étanches assurent le confinement du matériau isolant constituant ledit revêtement isolant entre ladite enveloppe et lesdites cloisons.

On entend par « section transversale » la section dans un plan  $XX'$ ,  $YY'$  perpendiculaire audit axe longitudinal  $ZZ'$  de ladite enveloppe.

15 Dans un mode de réalisation particulier, ladite structure fermée de ladite cloison comprend une pièce cylindrique qui présente une section transversale, dont le périmètre présente la même forme fixe que celui de ladite section transversale de l'enveloppe.

On entend dans la présente description par « périmètre de la section  
20 transversale », la ligne en forme de courbe fermée qui délimite la surface plane définie par ladite section transversale.

Le périmètre de la section transversale de l'enveloppe au niveau des cloisons étanches est de forme fixe et ne peut donc pas se déformer par contraction ou par expansion de ladite enveloppe à ce niveau.

25 Selon différentes variantes de réalisation, ladite section transversale de l'enveloppe est de forme circulaire, ou de forme ovale, ou encore de forme rectangulaire, de préférence avec des angles arrondis.

Dans le cas où le dispositif comporte au moins deux conduites disposées suivant un même plan, la section transversale de ladite enveloppe est de préférence  
30 de forme allongée dans la même direction que ce plan.



Plus particulièrement, le périmètre externe de la section transversale de ladite enveloppe de protection est une courbe fermée dont le rapport du carré et de la longueur sur la surface qu'elle délimite est au moins égal à 13, comme décrit dans FR99/00985.

- 5 Lors des variations de volume interne, l'enveloppe aura tendance à se déformer vers une forme circulaire, laquelle constitue mathématiquement la forme présentant, à périmètre constant, la surface la plus importante.

- 10 Dans le cas d'une enveloppe étanche à profil circulaire, une augmentation de volume engendre des contraintes dans la paroi, lesquelles sont liées à l'augmentation de pression résultante de cette augmentation de volume.

En revanche, si on aplatit la forme de la section transversale du revêtement extérieur, meilleure est la capacité de son enveloppe à absorber les expansions dues à la dilatation des différents composants sous l'effet de la température, sans créer de surpression significative, car l'enveloppe a la possibilité de se remettre au rond.

- 15 Dans le cas de profil de forme ovale, une variation de pression interne impliquera une combinaison de contraintes de flexion et de contraintes de traction pure, car la courbure variable de l'ovale se comporte alors comme une voûte architecturale avec cependant la différence que dans le cas de notre enveloppe, les contraintes sont des contraintes de traction et non des contraintes de compression.
- 20 Ainsi, une forme ovale ou approchée d'une ovale sera envisageable pour de faibles capacités d'expansion et il conviendra de considérer alors des ovales avec un rapport de longueur du grand axe  $p_{max}$  sur celle du petit axe  $p_{min}$  aussi élevé que possible par exemple au moins 2/1 ou 3/1.

- 25 On sélectionnera alors la forme de l'enveloppe en fonction de l'expansion globale du volume du revêtement extérieur isolant, sous l'effet de variations de température. Ainsi, pour un système d'isolation utilisant principalement des matériaux sujets à expansion une forme rectangulaire, une forme polygonale ou encore une forme ovale permet une expansion par flexion de la paroi tout en induisant un minimum de contraintes de traction dans l'enveloppe extérieure.

- 30 Pour un matériau isolant présentant une grande expansion sous l'effet de variations de température, tel que du gazole, des produits de la famille des alcanes

(paraffines), ou encore des matériaux à changement de phase, on aplatira avantageusement le rectangle pour créer la réserve d'expansion nécessaire. On peut encore augmenter cette réserve d'expansion en créant de façon connue des contre-courbures.

- 5            On entend ici par « matériau isolant » un matériau présentant de préférence une conductivité thermique inférieure à  $0.5 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ , de préférence encore entre 0.05 et  $0.2 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ . K (Watt/mètre/Kelvin).

- On entend par « matériau sujet à migration » un matériau liquide, pâteux ou de consistance solide, telle que la consistance d'une graisse, d'une paraffine ou d'un gel,  
10 qui est susceptible d'être déformé par les contraintes résultant de pressions différentielles entre deux points distincts de l'enveloppe et/ou de variations de température au sein dudit matériau isolant.

          On connaît différents matériaux isolants thermiques pouvant constituer des revêtements isolants selon l'invention.

- 15            Il s'agit le plus souvent de complexes isolants, comprenant un premier composé tel qu'un composé hydrocarboné comme la paraffine ou le gazole, de préférence en mélange avec un second composé gélifiant et/ou à effet structurant, notamment par réticulation, tel qu'un second composé du type polyuréthane.

- On peut citer plus particulièrement comme premiers composés les composés  
20 chimiques de la famille des alcanes, tels que des paraffines ou des cires, des bitumes, des goudrons, des alcools gras, des glycols, plus particulièrement encore des composés dont la température de fusion des matériaux est comprise entre la température  $t_1$  des effluents chauds circulant dans une des conduites et la température  $t_2$  du milieu environnant de la conduite en opération, soit en fait en général une  
25 température de fusion comprise entre 20 et 80°C. On utilise par exemple comme paraffine du tétracosane de formule  $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$  présentant une température de fusion d'environ 50°C.

          Lesdites cloisons créent des ponts thermiques. On recherche donc à les espacer le plus possible pour réduire les ponts thermiques.

Dans un mode particulier de réalisation, l'espacement entre deux dites cloisons étanches successives selon ledit axe longitudinal ZZ' de ladite enveloppe est de 50 à 200 mètres, notamment de 100 à 150 mètres.

Pour réduire le nombre de cloisons étanches, selon une caractéristique  
5 préférentielle, un dispositif selon l'invention comprend au moins un, de préférence une pluralité, de gabarit(s) conformateur(s) disposé(s) transversalement audit axe longitudinal (ZZ') constitué(s) d'une structure rigide ouverte solidaire de la ou desdites conduite(s) et traversée par celle(s)-ci et solidaire de ladite enveloppe à sa périphérie, disposé(s) entre deuxdites cloisons étanches successives, de préférence à intervalles  
10 réguliers le long dudit axe longitudinal ZZ', ledit gabarit conformateur présentant de préférence des ouvertures permettant le passage de la matière constitutive dudit revêtement isolant à travers ledit gabarit conformateur.

Comme ladite cloison étanche, ledit gabarit conformateur fige la forme de la section transversale de l'enveloppe au niveau dudit gabarit conformateur, tout en  
15 minimisant les ponts thermiques.

Plus particulièrement ladite structure ouverte dudit gabarit conformateur comprend une pièce cylindrique qui présente une section transversale dont le périmètre s'inscrit dans une figure géométrique identique à la figure géométrique définie par la forme du périmètre de la section transversale de ladite cloison étanche.

20 De préférence, un dispositif selon l'invention comporte une pluralité de gabarits conformateurs disposés le long dudit axe longitudinal ZZ' de l'enveloppe de préférence à intervalles réguliers, deux gabarits conformateurs successifs étant espacés de préférence encore de 5 à 50 mètres, de préférence 5 à 20 mètres.

Dans un mode préféré de réalisation, le dispositif comprend au moins un  
25 gabarit centraliseur, de préférence une pluralité de gabarits centraliseurs, disposé(s), transversalement audit axe longitudinal ZZ', de préférence à intervalles réguliers, entre deuxdites cloisons étanches successives et/ou entre deuxdits gabarits conformateurs le long dudit axe longitudinal ZZ', chaque gabarit centraliseur étant constitué d'une pièce rigide solidaire de la ou desdites conduite(s) et présentant une forme qui  
30 autorise un déplacement limité de ladite enveloppe, en contraction et en expansion, au regard dudit gabarit centraliseur.

Ce gabarit centraliseur vise à assurer un enrobage minimum en revêtement isolant (3) autour de la ou desdites conduite(s) en cas de déformation par contraction de l'enveloppe et transfert de ladite matière fluable entre les deuxdites cloisons étanches et/ou entre deuxdits gabarits conformateurs.

- 5 Plus particulièrement, ledit gabarit centraliseur est constitué d'une pièce rigide, de préférence à surface externe cylindrique, dont le périmètre de la section transversale est en retrait par rapport à celui de ladite cloison étanche, et limite les déformations de ladite enveloppe par butée mécanique directe de celle-ci sur ladite pièce rigide en au moins deux points opposés du périmètre de la section transversale
- 10 de ladite enveloppe.

Ledit gabarit centraliseur présente une section transversale dont le périmètre s'inscrit à l'intérieur d'une figure géométrique qui est sensiblement homothétique par rapport à la figure géométrique définie par le périmètre de la section transversale de ladite cloison étanche.

- 15 Dans un mode de réalisation, ladite pièce rigide constituant ledit gabarit centraliseur présente une partie de sa surface externe suffisamment en retrait par rapport à la surface de l'enveloppe, et/ou présente des perforations le traversant, de manière à créer un espace qui permette le transfert de matière constitutive dudit revêtement isolant à travers ledit gabarit centraliseur.

- 20 La distance entre deux gabarits centraliseurs le long dudit axe longitudinal ZZ' est telle qu'elle permet d'assurer de maintenir une quantité de matière constituant ledit revêtement isolant, suffisante pour assurer l'enrobage minimum nécessaire à l'isolation thermique de ladite conduite, compte tenu des déformations en contraction supportées par ladite enveloppe.

- 25 Avantageusement, le dispositif selon l'invention comporte une pluralité de gabarits centraliseurs, et deux gabarits centraliseurs successifs sont espacés le long dudit axe longitudinal ZZ' de l'enveloppe d'une distance de 2 à 5 mètres.

- La présente invention a plus particulièrement pour objet un dispositif selon l'invention comprenant au moins deuxdites conduites sous-marines disposées en
- 30 parallèle.

Dans ce cas, avantageusement, lesdites cloisons étanches de gabarit conformateur et gabarit centraliseur maintiennent les au moins deuxdites conduites sous marines à distance fixe l'une de l'autre.

La présente invention a également pour objet un dispositif d'isolation thermique  
5 unitaire utile pour obtenir un dispositif selon l'invention par assemblage bout à bout desdits dispositifs d'isolation thermique unitaires, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un ou des éléments unitaires de conduite sous marine à la place de la ou des conduite(s) sous marines, et
- un revêtement isolant et unedite enveloppe de protection, tels que définis  
10 ci-dessus, chaque dit élément unitaire comprenant à au moins une de ses extrémités ou à chacune de ses extrémités unedite cloison étanche et de préférence disposés desdits gabarits centraliseurs, et de préférence encore des gabarits conformateurs tels que définis ci-dessus, disposés entre deux cloisons étanches successives.

15 La présente invention a enfin pour objet un procédé d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine, caractérisé en ce qu'on réalise des dispositifs d'isolation thermique unitaires décrits ci-dessus, et on les assemble bout à bout les dispositifs d'isolation thermique unitaires tels que décrits ci-dessus.

Dans un mode préféré de réalisation, ledit matériau isolant est un complexe  
20 comprenant différents composants qui sont mélangés, puis injectés à l'état liquide au sein des différents compartiments délimités par deux dites cloisons étanches successives et ledit matériau isolant se transforme en gel par réticulation d'au moins un de ses dits composants.

Ce type de matrice gélifiée a par effet de limiter la convection.

25 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront mieux à la lecture de la description qui va suivre, faite de manière illustrative et non limitative, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

Les figures 1, 2 et 3 sont des vues en coupe d'une section transversale d'un faisceau dont la section transversale de l'enveloppe est de forme circulaire (figure 1)  
30 rectangulaire à bords arrondis (figures 2) et ovale (figure 3).

La figure 4 est une vue de côté d'un dispositif selon l'invention dans le cas d'une application dans une colonne montante.

Les figures 5, 6 et 7 sont des vues en coupe montrant la section transversale du dispositif au niveau a-b-d et e de la figure 4, respectivement pour chacun des types de dispositifs à enveloppe circulaire (figure 5), enveloppe ovale (figure 6) et enveloppe rectangulaire à bords arrondis (figure 7).

Les figures 8, 9 et 10 représentent les différentes étapes d'obtention d'un dispositif à enveloppe ovale (figure 10) à partir d'un dispositif à enveloppe circulaire (figure 8) en réalisant une déformation au delà de la limite élastique (figure 9).

10 Les figures 11, 12 et 13 sont des vues en coupe d'une section transversale d'un dispositif à enveloppe ovale, au niveau d'une cloison étanche (figure 11) et au niveau d'un gabarit centraliseur (figures 12 et 13), ladite enveloppe étant en phase de contraction (figure 12) et en phase d'expansion (figure 13).

La figure 14 est une vue de côté d'un dispositif selon l'invention présentant 15 plusieurs cloisons étanches de gabarit centraliseur et gabarit conformateur.

Les figures 15, 16 et 17 représentent une vue en coupe d'une section transversale d'un dispositif selon l'invention, comprenant une enveloppe de forme rectangulaire à angles arrondis au niveau d'un gabarit centraliseur, respectivement au repos (figure 15), en configuration d'expansion de l'enveloppe (figure 16) et en 20 configuration de contraction de l'enveloppe (figure 17).

Les figures 18 et 19 représentent respectivement la vue en coupe (figure 18) et la vue de côté (figure 19) d'un dispositif selon l'invention comprenant une enveloppe de type rectangulaire à bords arrondis équipé d'un écran extérieur lui conférant une forme circulaire, le petit écran étant lui-même équipé d'hélices antivortex.

25 La figure 20 est une vue en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention présentant une cloison étanche, un gabarit centraliseur et un gabarit conformateur.

Les figures 21 et 22 représentent respectivement une vue en coupe longitudinale (figure 21) et vue de dessus (figure 22) d'un gabarit centraliseur ou conformateur comprenant une pièce rigide à structure ouverte de type roue de 30 bicyclette à rayons.

Les figures 8, 9 et 10 représentent la section de l'enveloppe externe en acier d'un bundle, respectivement de forme circulaire après fabrication (figure 8), puis déformée au delà de la limite élastique, à la presse sous un effort F, enfin sous forme légèrement aplatie après relâchement de l'effort F (figure 9), ce qui constitue alors  
5 l'enveloppe extérieure d'un « bundle plat » de section sensiblement ovale (figure 10).

La figure 1 est la vue en coupe de la section transversale d'un dispositif selon l'invention composé d'une enveloppe extérieure 2 circulaire souple en matériau thermoplastique contenant un matériau isolant 3 sujet à migration, par exemple un matériau pâteux du type paraffine, au centre duquel sont disposées deux conduites de  
10 production d'effluents pétroliers 4, ainsi qu'une conduite auxiliaire de réchauffage 15 et un câble électrique 16.

Dans les figures 2 et 3, les mêmes conduites 4 et 15 et câbles 16 sont disposés au sein d'un bundle plat en tôle d'acier ou en matériau composite, l'enveloppe extérieure 2 ayant respectivement la forme d'un rectangle à bords arrondis  
15 (figure 2) ou sensiblement la forme d'une ellipse (figure 3).

La figure 4 est une vue de face d'une portion de colonne montante ou « riser » isolée thermiquement 1<sub>1</sub>, comportant une enveloppe extérieure 2 soit en matériau thermoplastique, soit en acier ou encore en matériau composite, dont la section peut être circulaire comme détaillé sur la figure 5, ou elliptique comme détaillé sur la figure  
20 6, ou encore rectangulaire à bords arrondis comme détaillé sur la figure 7.

Ladite portion de colonne montante 1<sub>1</sub> comporte deux conduites 4 installées vers le centre ainsi qu'en partie supérieure (a) et en partie inférieure (b) une cloison étanche 5 servant à confiner, en coopération avec l'enveloppe externe 2, le matériau isolant 3. Ladite cloison étanche 5 supporte lesdites conduites 4 et les maintient à  
25 distance fixe l'une de l'autre et à distance fixe de la paroi.

Sur toutes les figures, on a présenté un dispositif d'isolation thermique de deux conduites sous marines comportant un dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine comportant :

- un revêtement isolant entourant ladite ou lesdites conduite(s),
- 30 - ledit revêtement étant recouvert d'une enveloppe étanche de protection, et

- ladite enveloppe étant de forme tubulaire et présentant un axe longitudinal de symétrie  $ZZ'$ , la section transversale de ladite enveloppe définissant un périmètre présentant deux axes de symétrie  $XX'$  et  $YY'$  perpendiculaires entre eux, et audit axe longitudinal  $ZZ'$ .

5 Sur les figures 4 et 14, on a représenté une portion ou tronçon d'un dispositif d'isolation thermique 1, dénommé ci-dessus dispositif d'isolation thermique unitaire, qui comprend deux cloisons étanches 5, et une pluralité de gabarits centraliseurs 6 ou gabarits conformateurs 7. Les cloisons étanches 5, gabarits centraliseurs 6 et gabarits conformateurs 7, sont des pièces rigides de forme cylindrique comme représenté sur  
10 la figure 20.

Sur les figures 5, 6, 7 et 11, la pièce rigide constituant la cloison étanche présente une section transversale de même forme que celui de la section transversale de l'enveloppe. Sur la figure 20, la hauteur de la pièce rigide cylindrique constituant la cloison étanche 5 est d'au moins un quart, de préférence environ la moitié de son  
15 diamètre, de manière à ce que la surface de contact 5<sub>1</sub> avec l'enveloppe par laquelle la cloison étanche est rendue solidaire à l'enveloppe soit suffisamment grande. La cloison étanche 5 est traversée par les conduites 4. La liaison entre la cloison étanche et les conduites 4 est elle aussi étanche, ce qui rend possible le confinement sans fuite au sein de l'enveloppe du matériau isolant. La cloison étanche 5 possède une  
20 résistance mécanique telle qu'elle fige la section de l'enveloppe extérieure à ce niveau (niveaux a et d figure 4). La surface externe cylindrique 5<sub>1</sub> de la pièce rigide constitutive de la cloison étanche 5 est collée ou soudée à l'enveloppe, mais avantageusement, elle peut être également en complément encerclée par un feuillard de cerclage extérieur 18 à l'extérieur de l'enveloppe à ce niveau.

25 Lesdites cloisons étanches sont des structures distinctes de ladite enveloppe, laquelle présente une continuité dans la direction longitudinale entre deux points situés de part et d'autre de ladite cloison.

Dans l'espace confiné entre deux cloisons étanches 5 dudit tronçon 1, sont disposés d'une part les gabarits centraliseurs 6 et d'autre part des gabarits  
30 conformateurs 7.

Les gabarits centraliseurs sont disposés de préférence à intervalles réguliers, par exemple d'une distance de 2 à 5 mètres. Ils sont également composés d'une pièce



rigide solidaire des conduites internes 4, la forme des gabarits centraliseurs autorise un déplacement limité de l'enveloppe 2 en contraction et en expansion au regard dudit gabarit centraliseur 6, plus particulièrement ledit déplacement de l'enveloppe 2 en regard d'undit gabarit centraliseur 6, représente une variation de 0,1 à 10 %, de préférence de 0,1 à 5 %, de la distance entre deux points opposés 2<sub>1</sub>-2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>-2<sub>4</sub> du périmètre de la section transversale de ladite enveloppe.

Sur les figures 15 à 17, ladite section transversale dudit gabarit centraliseur 6 a la forme d'un rectangle dont les angles sont tronqués en pans coupés 9<sub>1</sub>.

Sur les figures 12 et 13 et 15 à 17, le gabarit centraliseur présente une section transversale dont le périmètre s'inscrit à l'intérieur d'une première figure géométrique 6<sub>1</sub> de forme d'un rectangle à bords arrondis (figure 15), de forme ovale (figure 12), qui est homothétique par rapport à la figure géométrique définie par le périmètre de la section transversale de la cloison étanche avec laquelle il coopère.

Sur les figures 16 et 17, on montre que le périmètre de la section transversale du gabarit centraliseur 6 est en retrait par rapport à celui de la cloison étanche et donc de l'enveloppe au repos (figure 11) et limite les déformations (figures 16 et 17) de ladite enveloppe par butée mécanique directe de celle-ci en au moins deux points opposés 2<sub>1</sub>-2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>-2<sub>4</sub> du périmètre de la section transversale de ladite enveloppe.

En cas de suppression de l'intérieur de l'enveloppe par rapport à l'extérieur (voir zone b figures 4 et 16), si l'enveloppe 2 n'est pas circulaire et présente une forme aplatie, notamment ovale ou rectangulaire avec un grand axe de symétrie XX' et un petit axe de symétrie YY' perpendiculaires entre eux et situés dans le plan de section transversale, le périmètre de la section transversale de l'enveloppe tend à se circulariser. Dans ces conditions, la butée mécanique et donc le contact de l'enveloppe avec ledit gabarit centraliseur se fait alors seulement en des points opposés 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub> de ladite enveloppe située sur le plus grand axe de symétrie XX', de sorte que l'expansion de ladite enveloppe selon le petit axe de symétrie YY' se trouve également limitée (voir zone b des figures 4 et 16) et la section transversale de ladite enveloppe peut ainsi rester de forme aplatie (non circulaire).

En revanche, en cas de suppression de l'extérieur de l'enveloppe par rapport à l'intérieur de l'enveloppe, la butée mécanique et le contact de l'enveloppe avec ledit gabarit centraliseur se fait à la fois en des points opposés 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub> de ladite enveloppe

située sur le plus grand axe de symétrie  $XX'$  et en des points opposés 2<sub>3</sub>, 2<sub>4</sub> de ladite enveloppe située sur le plus petit axe de symétrie  $YY'$  dans le plan de section transversale, de sorte que la contraction de ladite enveloppe se trouve limitée (voir zone d des figures 4 et 17). On évite ainsi une implosion éventuelle de l'enveloppe en ces points.

Le gabarit centraliseur 6 présente avantageusement à sa périphérie principalement dans les zones de contact avec l'enveloppe une surface de contact suffisamment large 6<sub>4</sub> de manière à éviter les endommagements de l'enveloppe extérieure 2 lorsque le bundle respire. En revanche, la partie centrale du gabarit centraliseur peut être évidée 6<sub>5</sub>, comme représenté figure 20, de manière à minimiser les ponts thermiques tout en conservant suffisamment de matière pour conserver au gabarit centraliseur une rigidité suffisante.

Les gabarits conformateurs 7 sont des pièces rigides cylindriques d'épaisseur plus petite, dont la fonction est, comme les cloisons étanches 5, de fixer la forme de la section transversale de l'enveloppe à leur niveau, cette section étant de préférence identique à celle imposée par la cloison étanche 5. La surface de contact 7<sub>2</sub> de la tranche périphérique du cylindre constitutif de la pièce, est donc, comme représenté figure 20, de hauteur moins importante que pour les gabarits centraliseurs ou les cloisons étanches de manière à minimiser les ponts thermiques, mais comme les cloisons étanches, elles sont rendues solidaires de l'enveloppe par collage ou soudage, et de préférence par cerclage (7<sub>2</sub>) avec un feuillard de cerclage extérieur à l'enveloppe 18.

Le gabarit conformateur 7 n'est pas étanche car il comporte des ouvertures 7<sub>1</sub> qui laissent passer le matériau isolant, surtout lors de la phase de remplissage de matériau isolant, ce dernier étant fluide ou pâteux et présentant de préférence une viscosité très faible. Le gabarit conformateur 7 est solidaire des conduites internes 4 et maintient à distance fixe l'une de l'autre comme les cloisons étanches 5 et les gabarits centraliseurs 6. Le gabarit conformateur maintient en outre les conduites internes à distances fixes de l'enveloppe au niveau du gabarit conformateur.

Les gabarits conformateurs successifs sont espacés de préférence d'une distance de 5 à 50 mètres, de préférence de 5 à 20 mètres, la surface externe desdites pièces rigides cylindriques constituant ladite cloison étanche 5 ou ledit gabarit conformateur 7 sont en contact continu avec ladite enveloppe 2. Il faut comprendre par

l'expression « contact continu » que ledit contact est réalisé sur toute la circonférence du périmètre de la section transversale de ladite enveloppe.

Sur les figures 5, 6 et 7, on a représenté à chacun des niveaux a, b, d et e respectivement pour chacun des types d'enveloppes circulaires ovales ou  
5 rectangulaires, et de manière considérablement amplifiée, des déformations engendrées par la pression différentielle entre l'intérieur du dispositif et le milieu ambiant entre deux cloisons étanches localisées respectivement aux niveaux a et e. La pression différentielle s'exerçant sur l'enveloppe 2 est due à la différence de densité  
10 du matériau isolant par rapport à l'eau de mer, ladite densité étant en général aux alentours de 0.8 à 0.85. Ainsi, à titre d'illustration, si l'on considère une portion de colonne montante 11 de 100m, pour un matériau isolant de densité 0.8, la pression différentielle entre le haut et le bas sera de 0.2Mpa, la partie basse (niveau d figure 4) de ladite colonne montante se trouvant en dépression, tandis que la partie haute se  
15 trouvera en surpression. Il en résultera une déformation 12 de l'enveloppe extérieure 2 dont le résultat est sensiblement comparable dans chacune des configurations selon les figures 5, 6 et 7. La dépression en partie basse aura tendance à contracter l'enveloppe, comme illustré entre le plan e et le plan d, où la section est minimale, pour ensuite croître vers un maximum en b, puis décroître vers la section nominale imposée par le diaphragme 11. Selon le type de bundle, les déformations sont illustrées dans  
20 les plans a-b-c-d-e relatifs aux figures 5, 6 et 7.

Ces déformations de l'enveloppe externe vont engendrer des transferts vers le haut du complexe isolant semi-fluide ou pâteux, ce qui risque de nuire au bon comportement de l'isolant, voire d'en détruire la structure, car ce type de matériau d'isolation sujet à migration reste fragile et supporte mal les cisaillements internes  
25 créés par les migrations internes.

Dans le cas de la figure 5 représentant l'enveloppe circulaire en matériau thermoplastique l'expansion en b est importante, mais la contraction observée en d reste très faible, car la dépression existante a des répercussions moindres sur la forme finale.

30 A ce phénomène de transfert de fluide vers le haut, vient s'ajouter le phénomène de respiration décrit précédemment, dû aux variations de température des conduites internes lesquelles engendrent des variations de volumes, principalement au

sein du complexe isolant, qui viennent amplifier les déformations, surtout dans la partie haute.

Lorsqu'il se produit un transfert de matière dudit revêtement isolant par migration dans ladite direction longitudinale  $ZZ'$ , en général dans le sens de bas en haut dans le cas où ladite conduite est une colonne montante ou riser ou en déclivité, la forme du périmètre de la section transversale de ladite enveloppe n'est pas uniforme le long de l'axe longitudinal de symétrie  $ZZ'$  et ladite forme fixe du périmètre de la section transversale de ladite cloison étanche correspond alors à la forme de la section transversale de ladite enveloppe, avant ledit transfert de matière, c'est à dire lorsque ledit revêtement isolant est uniformément réparti autour de ladite conduite le long dudit axe longitudinal  $ZZ'$  et que ladite forme de la section transversale de l'enveloppe le long dudit axe longitudinal est également uniforme.

Lorsque se produisent des déformations de l'enveloppe et de la forme de la surface extérieure du revêtement isolant, la forme du périmètre de ladite section transversale de l'enveloppe reste en général symétrique par rapport à deuxdits axes  $XX'$ ,  $YY'$  perpendiculaires entre eux et perpendiculaires audit axe longitudinal de symétrie  $ZZ'$  de l'enveloppe.

Dans un mode de réalisation préféré, les gabarits centraliseurs et conformateurs sont avantageusement réalisés de manière similaire à une roue de bicyclette comme représenté sur les figures 21-24. Ledit gabarit est constitué d'une jante, d'un moyeu et de rayons réalisés en enroulement filamentaire, de préférence en continu.

On entend par enroulement filamentaire, un produit obtenu à partir d'une fibre résistante, de préférence une fibre de carbone ou une fibre de verre, imprégnée d'un produit composite, par exemple une résine époxy, et mis en place, de préférence sous tension, de manière continue, avant que la résine ne soit réticulée.

Ladite jante et ledit moyen sont fabriqués, de préférence de manière continue, à partir d'un feuillard plat en acier.

On fabrique à partir d'un feuillard plus large et on le plie selon la forme, par exemple rectangulaire, représentée sur la figure 21. Des raidisseurs complémentaires (non représentés) sont avantageusement ajoutés pour donner à l'ensemble une

grande rigidité. La jante 33 et son moyeu 32 sont positionnés l'un par rapport à l'autre au moyen d'un dispositif provisoire, non représenté, et le ruban composite imprégné de résine, maintenu en tension est passé successivement autour d'un élément d'accrochage de la jante, puis d'un élément d'accrochage du moyeu, et ainsi de suite, 5 de manière à constituer l'enchevêtrement de rayons qui constituera le liaisonnement résistant entre ladite jante et ledit moyeu. On notera que le mode de fonctionnement mécanique est similaire à celui d'une roue de bicyclette, car, sous charge verticale, la jante travaille en compression, mais l'intégralité des rayons travaille en tension. La technique de fabrication d'un ruban composite imprégné de résine est connue sous le 10 nom anglo-saxon de pulltrusion, ce qui signifie "traction-extrusion" et sera avantageusement associée à un robot manipulateur qui effectuera de manière automatique le "tricotage" autour des éléments d'accrochage support de la jante et du moyeu pour constituer les rayons.

Le gabarit centraliseur-conformateur a été représenté sous une forme 15 circulaire, mais sa forme peut aussi être sensiblement ovale ou rectangulaire à bords arrondis, mais dans ce cas la répartition des rayons ne sera plus uniforme, certaines zones devant être renforcées pour présenter une résistance suffisante dans toutes les directions.

Lorsque le dispositif selon l'invention présente une enveloppe de forme à 20 section transversale de forme rectangulaire, cette forme est sujette à de fortes contraintes dans les zones de forte agitation proches de la surface. C'est pourquoi dans ce cas, il est avantageux de prévoir comme représenté sur les figures 18 et 19 un écran extérieur 21 lui conférant une forme circulaire, ledit écran étant en outre lui-même équipé à sa surface externe d'un élément de stabilisation antivortex de forme 25 hélicoïdale 22. Le dispositif selon l'invention à enveloppe de section transversale rectangulaire, présenté sur la figure 18, est rendu solidaire de l'écran extérieur par des liaisons souples de type caoutchouc 23.

Les cloisons étanches, gabarits centraliseurs 6 et conformateurs 7 sont 30 réalisées de préférence à partir de matériaux résistants et peu conducteurs de la chaleur, par exemple en matériaux thermoplastiques, renforcés ou non, en matériaux composites, ou même partiellement en métal, et avantageusement en une combinaison de ces différentes technologies.

Les plus grands diamètres des cloisons étanches, gabarits centraliseurs et gabarits conformateurs de leur section transversale de l'ordre de 1 m à 1,5 m, voire 2m, conformément à la taille globale des dispositifs selon l'invention correspondant également à des épaisseurs d'enveloppe de l'ordre de 15 à 40mm dans le cas  
5 d'enveloppes souples en thermoplastiques de type polyéthylène ou polypropylène et de 5 à 8mm dans le cas d'enveloppe semi rigide en acier ou en matériau composite, et des diamètres de conduites de l'ordre de 100mm à 400mm.

L'assemblage de tronçons unitaires 11 pour former un faisceau continu de plusieurs kilomètres peut s'effectuer par exemple de la manière suivante. On fabrique  
10 d'abord un premier tronçon, par exemple de 100m de longueur tel que représenté sur la figure 14 et équipé de ses cloisons étanches. Pour cela, on fabrique les conduites internes à partir de longueurs de tube de 12m raboutés par soudage, puis on installe, au fur et à mesure, les gabarits centraliseurs et les gabarits conformateurs, lesdits gabarits centraliseurs et gabarits conformateurs étant équipés par exemple de  
15 roulettes ou patins en partie basse. On insère alors l'ensemble à l'intérieur de l'enveloppe externe 2 en poussant cette dernière qui a été préfabriquée en un seul élément ou par raboutage d'éléments unitaires d'enveloppe de 12m, 24m ou plus, ledit raboutage s'effectuant de préférence loin de l'extrémité des conduites intérieures. Lorsque l'enveloppe externe est en place, on installe lesdites cloisons  
20 étanches 5 à chaque extrémité que l'on solidarise à l'enveloppe 2 et aux conduites 4 et on injecte le matériau isolant entre les cloisons étanches. On aura pris soin de laisser dépasser, du côté que l'on doit rallonger, l'enveloppe externe d'une certaine longueur, par exemple 20cm, et les conduites internes 4, par exemple, la première de 1m et la seconde de 1.5m, de manière à ce que les zones où l'on devra effectuer les  
25 raccords par soudage soient décalées les unes des autres, ce qui permettra l'accès aux équipements de soudage et de contrôle. On tire alors le tronçon préfabriqué vers la mer pour libérer la zone de travail et on fabrique alors le tronçon suivant de manière similaire. Lorsque l'on met en place l'enveloppe externe autour du nouveau tronçon, elle est mise en face à face avec l'enveloppe en attente à  
30 une extrémité du tronçon précédent puis soudée. A l'autre extrémité, on installe une cloison étanche 5 que l'on solidarise à ladite enveloppe extérieure et aux conduites, puis on procède au remplissage de matériau isolant. On aura pris soin de laisser dépasser les conduites 4 avec un décalage suffisant par rapport à l'enveloppe externe

comme décrit ci-dessus, de manière à faciliter les opérations de soudage et de contrôle, et l'on recommence l'opération jusqu'à l'obtention d'une longueur suffisante.

Si des câbles électriques ou des ombilicaux doivent être installés au sein du dispositif, on ajoutera une conduite supplémentaire jouant le rôle de fourreau et le  
5 câble ne sera tiré à travers ledit fourreau qu'après assemblage complet de la longueur complète de faisceau, lequel peut atteindre plusieurs kilomètres.

Dans une version préférée de l'invention, le complexe isolant est avantageusement réalisé à partir d'un gel réticulé présentant une grande stabilité, par exemple un composé de type polyuréthane, dont la réticulation créant un gel  
10 sensiblement continu, joue le rôle de matrice, au sein duquel se trouve, en dispersion, un liquide tel une paraffine, un gazole, ou tout autre composé présentant un niveau de conductibilité thermique faible. On incorporera avantageusement encore au complexe, lors de sa fabrication, des composés solides, par exemple des micro-sphères de verre,  
dont le rôle est de diminuer la conductivité thermique du complexe, ou des matrices  
15 fibreuses dont le rôle est de réduire la convection des particules restant à l'état liquide au sein dudit complexe isolant.

Les divers composants sont alors mélangés puis malaxé de manière énergique pour obtenir un composé homogène qui peut alors être injecté sous forme liquide et remplir ainsi l'intégralité du tronçon limité par deux diaphragmes étanches  
20 consécutifs. Préalablement à l'injection du matériau isolant fluide, on tirera avantageusement au vide de tronçon, de manière à éviter toute poche de gaz résiduel. Le vide créé ne manquera pas de faire imploser localement l'enveloppe, mais cette dernière reprendra sa forme initiale dès que l'on aura injecté la quantité nécessaire et suffisante de fluide. On aura bien sûr pris la précaution de dimensionner  
25 les conformateurs et centraliseurs, et de les rapprocher suffisamment pour que cette implosion temporaire soit sans répercussion significative sur l'intégrité de l'enveloppe extérieure.

Le produit homogénéisé ainsi injecté se trouve à l'état liquide lors de la phase de remplissage et après réticulation du liant, se transforme en une matrice gélifiée au  
30 sein de laquelle se trouve emprisonnée le ou les autres constituants restant à l'état liquide ou eux aussi à l'état de gel, ce qui réduit de façon très importante les phénomènes de convection.

On choisira de préférence les composants liants, par exemple les polyuréthanes, de manière à ce que la polymérisation ne démarre qu'après plusieurs heures, par exemple une durée minimale 6 à 8 heures, ce qui permet, avec des moyens de mélangeage et de pompage raisonnables de réaliser dans ce laps de  
5 temps des dispositifs de 1m de diamètre en tronçons unitaires de 100m environ.

On pourrait tout aussi bien réduire cette longueur unitaire ou l'augmenter en considérant des moyens d'injection plus faibles ou plus importants, ou encore utiliser des composants, additionnés ou non de retardateurs, dont le temps d'ouverture, c'est à dire le temps pendant lequel il peut être mis en œuvre, est plus faible ou plus  
10 important, l'essentiel étant que l'intégralité de l'opération d'injection doit être terminée avant que la réaction de gélification ou de réticulation du liant ne soit initiée de manière significative.

En procédant ainsi, on simplifie de manière considérable le remplissage du bundle, car on évite les tâches compliquées de l'art antérieur qui consistaient à  
15 installer des matrices absorbantes et à faire percoler le fluide isolant, ou encore à injecter à chaud un complexe isolant tel de la paraffine, sujet à rétractation importante lorsqu'il passe de l'état liquide à l'état solide.



REVENDECATIONS

1. Dispositif d'isolation thermique (1) d'au moins une conduite sous-marine (4) comportant :
- 5       - un revêtement isolant thermique (3) entourant ladite ou lesdites conduite(s) (3),
- ledit revêtement étant recouvert d'une enveloppe étanche de protection (2), et
- ladite enveloppe étant de forme tubulaire et présentant un axe longitudinal de symétrie (ZZ'),
- 10       - ledit revêtement isolant (3) comprenant un matériau sujet à migration, et ladite enveloppe (2) étant constituée d'un matériau souple ou semi-rigide apte à rester au contact de la surface extérieure dudit revêtement isolant (3) lorsque celui-ci se déforme.
- dispositif caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux cloisons transversales
- 15       étanches (5), chacune desdites cloisons étant constituées d'une pièce rigide fermée traversée par la ou lesdites conduite(s), et solidaire de celle(s)-ci, et solidaire, à sa périphérie, de ladite enveloppe.
2. Dispositif d'isolation thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite cloison (5) est constituée d'une pièce cylindrique qui présente une section
- 20       transversale dont le périmètre présente la même forme fixe que celui de ladite section transversale de l'enveloppe (2).
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que lesdites cloisons sont espacées, de préférence à intervalles réguliers, le long dudit axe longitudinal (ZZ') d'une distance de 50 à 200 mètres.
- 25       4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un gabarit centraliseur (6), de préférence une pluralité de gabarits centraliseurs (6), disposé(s), de préférence à intervalles réguliers, entre deuxdites cloisons étanches (5) successives le long dudit axe longitudinal (ZZ'), chaque gabarit centraliseur (6) étant constitué d'une pièce rigide solidaire de la ou desdites
- 30       conduite(s) et présentant une forme qui autorise un déplacement limité de ladite enveloppe (2), en contraction et en expansion, au regard dudit gabarit centraliseur (6).

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit gabarit centraliseur (6) est constitué d'une pièce rigide, de préférence à surface externe (6<sub>4</sub>) cylindrique, dont le périmètre de la section transversale est en retrait par rapport à celui de ladite cloison étanche (5), et limite les déformations de ladite enveloppe par  
5 butée mécanique directe de celle-ci sur ladite second pièce rigide (6) en au moins deux points opposés (2<sub>1</sub>-2<sub>2</sub> , 2<sub>3</sub>-2<sub>4</sub>) du périmètre de la section transversale de ladite enveloppe (2).
6. Dispositif selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que ledit déplacement de l'enveloppe (2) en regard d'undit gabarit centraliseur (6), représente une variation  
10 de 0,1 à 10 %, de préférence de 0,1 à 5 %, de la distance entre deux points opposés (2<sub>1</sub>-2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>-2<sub>4</sub>) du périmètre de la section transversale de ladite enveloppe.
7. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que ladite pièce rigide constituant ledit gabarit centraliseur (6) présente une partie de sa surface externe suffisamment en retrait par rapport à la surface de l'enveloppe, et/ou présente  
15 des perforations le traversant, de manière à créer un espace (6<sub>2</sub>) qui permette le transfert de matière constitutive dudit revêtement isolant (2) à travers ledit gabarit centraliseur (6).
8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que ladite section transversale dudit gabarit centraliseur (6) a la forme d'un rectangle dont les angles  
20 sont tronqués en pans coupés (6<sub>3</sub>).
9. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité dedits gabarits centraliseurs (6), et deux gabarits centraliseurs successifs sont espacés le long dudit axe longitudinal (ZZ') de l'enveloppe d'une distance de 2 à 5 mètres.
- 25 10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un, de préférence une pluralité, de gabarit(s) conformateur(s) (7) constitué(s) d'une pièce rigide solidaire de la ou desdites conduite(s) et traversée par celle(s)-ci et solidaire de ladite enveloppe (2) à sa périphérie, disposé(s) entre deuxdites cloisons étanches (5) successives, ledit gabarit conformateur présentant des ouvertures (7<sub>1</sub>)  
30 permettant le passage de la matière constitutive dudit revêtement isolant (3) à travers ledit gabarit conformateur (7).

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit gabarit conformateur (7) est constitué d'une pièce cylindrique qui présente une section transversale dont le périmètre s'inscrit dans une figure géométrique identique à la figure géométrique définie par la forme du périmètre de la section transversale de ladite cloison étanche (5).
12. Dispositif selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité de gabarits conformateurs disposés le long dudit axe longitudinal (ZZ') de l'enveloppe de préférence à intervalles réguliers, deux gabarits conformateurs (7) successifs étant espacés de préférence encore de 20 à 50 mètres.
13. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 12, caractérisé en ce que la ladite pièce rigide constituant undit gabarit centraliseur ou undit gabarit conformateur comprend une structure ouverte formée par des rayons (31) disposés radialement entre un moyeu (32) constitué d'une enceinte cylindrique entourant la ou lesdites conduite(s) et une jante (33) constituant la surface de contact dudit gabarit avec ladite enveloppe.
14. Dispositif selon une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que en ce que ladite enveloppe (2) définit un périmètre présentant deux axes de symétrie (XX') et (YY') perpendiculaires entre eux, et audit axe longitudinal (ZZ'),
15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ladite section transversale de l'enveloppe est de forme circulaire.
16. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ladite section transversale de l'enveloppe est de forme ovale.
17. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ladite section transversale de l'enveloppe est de forme rectangulaire, de préférence avec des angles arrondis.
18. Dispositif d'isolation thermique d'un faisceau de conduites sous-marines, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif selon l'une des revendications 1 à 16 comprenant au moins deuxdites conduites sous-marines disposées en parallèle.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que lesdites cloisons étanches (5) de gabarit conformateur (6) et gabarit centraliseur maintiennent les au moins deuxdites conduites sous-marine (4) à distance fixe l'une de l'autre.

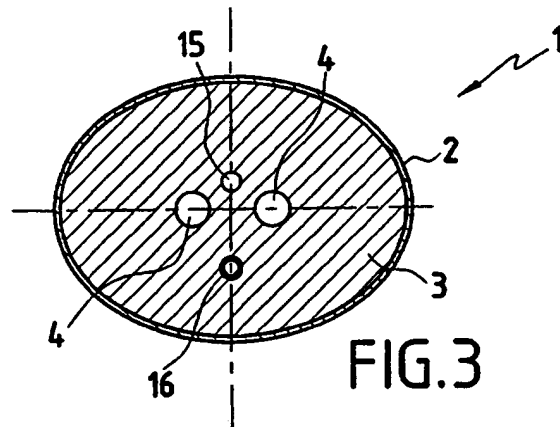
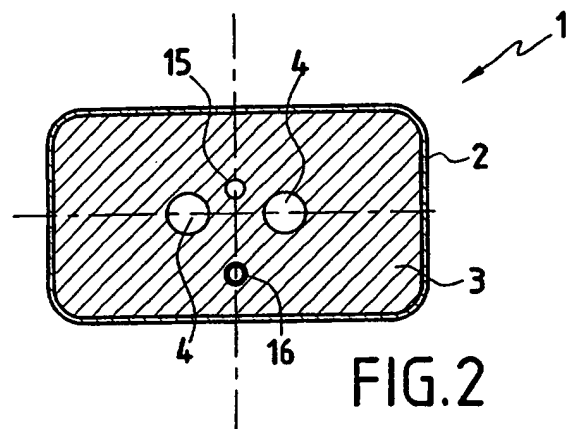
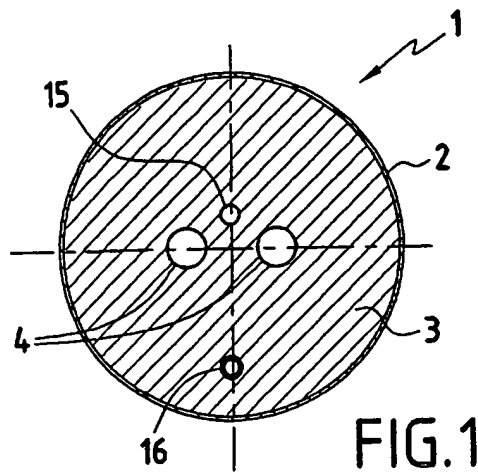
20. Dispositif d'isolation thermique unitaire utile pour obtenir un dispositif selon  
5 l'une des revendications 1 à 19 par assemblage bout à bout desdits dispositifs d'isolation thermique unitaires, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un ou des éléments unitaires de conduite sous-marine à la place de la ou des conduite(s) sous-marines, et
- un revêtement isolant (3), unedite enveloppe de protection (2), tels que  
10 définis dans les revendications 1 à 18, chaque dit élément unitaire (4) comprenant à au moins une de ses extrémités ou à chacune de ses extrémités unedite cloison étanche (5), et de préférence desdits gabarits centraliseurs (6), et de préférence encore des gabarits conformateurs (7) tels que définis dans les revendications 1 à 18 disposé entre deux cloisons  
15 étanches successives.

21. Procédé d'isolation thermique d'au moins une conduite sous marine caractérisé en ce qu'on réalise des dispositifs d'isolation thermique unitaire selon la revendication 20, et on les assemble bout à bout.

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que ledit matériau isolant  
20 est un complexe comprenant différents composants qui sont mélangés, puis injectés à l'état liquide au sein des différents compartiments délimités par deux dites cloisons étanches successives et ledit matériau isolant se transforme en gel par réticulation d'au moins un de ses dits composants.

25



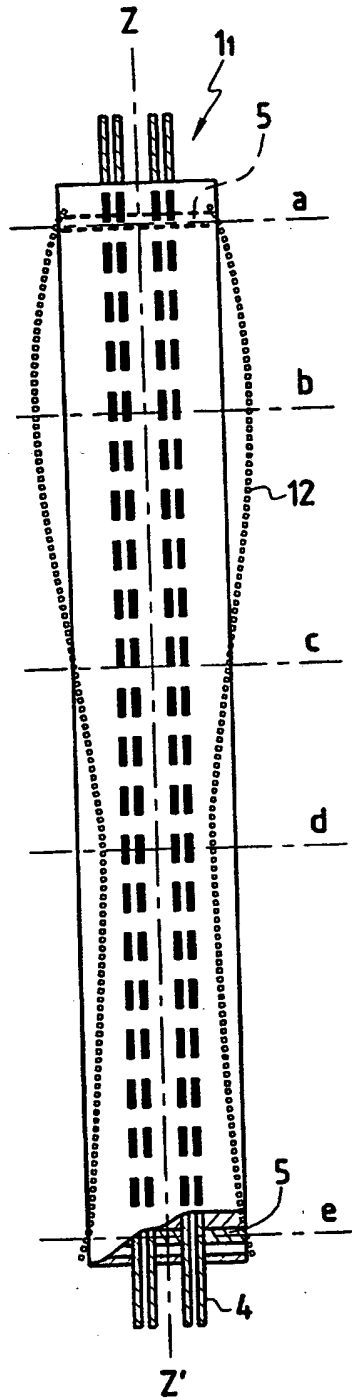


FIG. 4

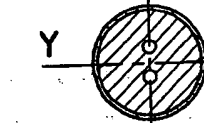
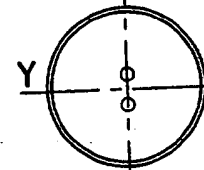
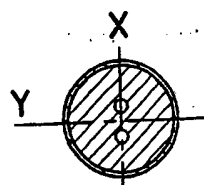


FIG. 5

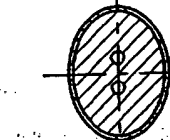
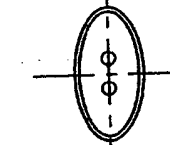
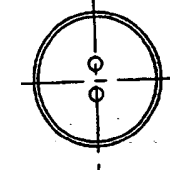
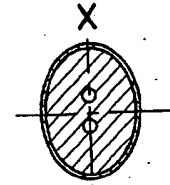


FIG. 6

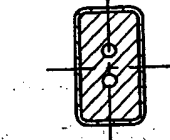
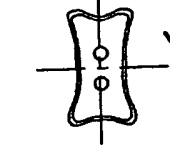
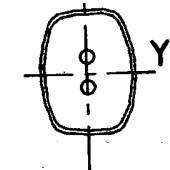
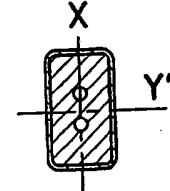


FIG. 7

3/9

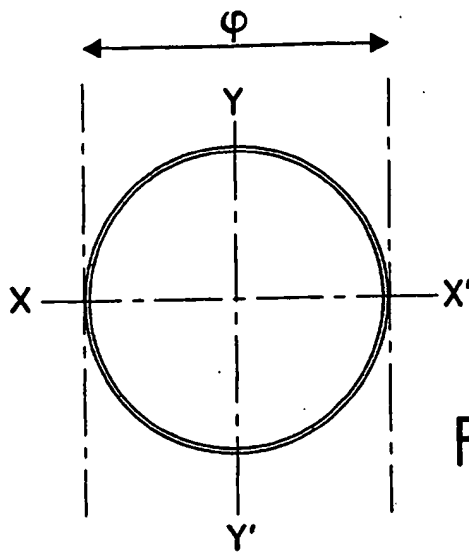


FIG.8

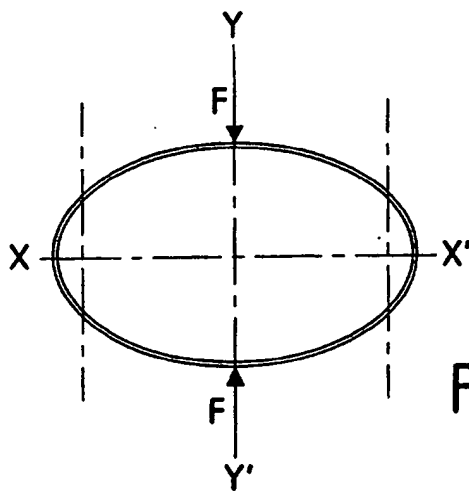


FIG.9

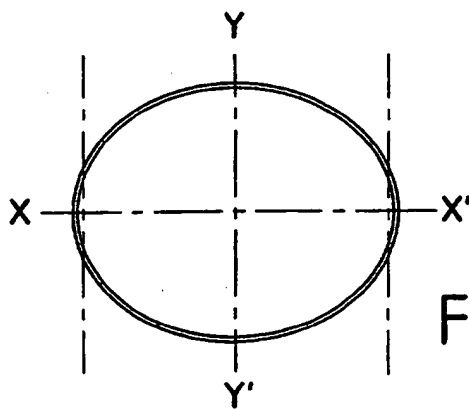


FIG.10

4/9

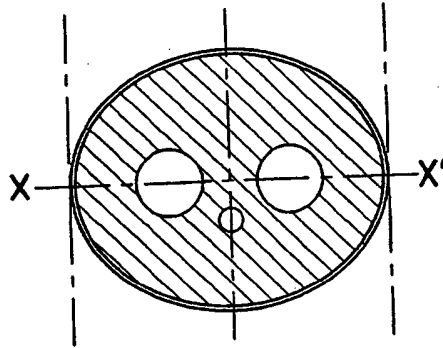


FIG. 11

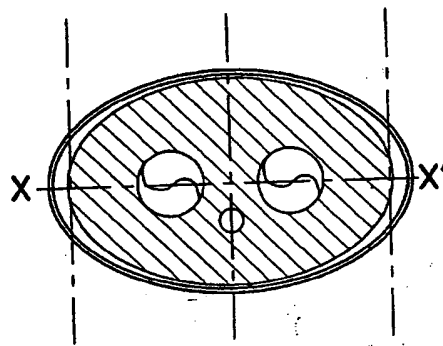


FIG. 12

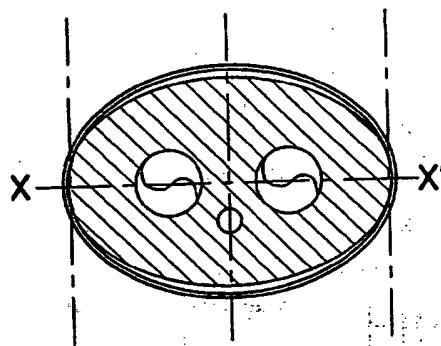


FIG. 13



5/9

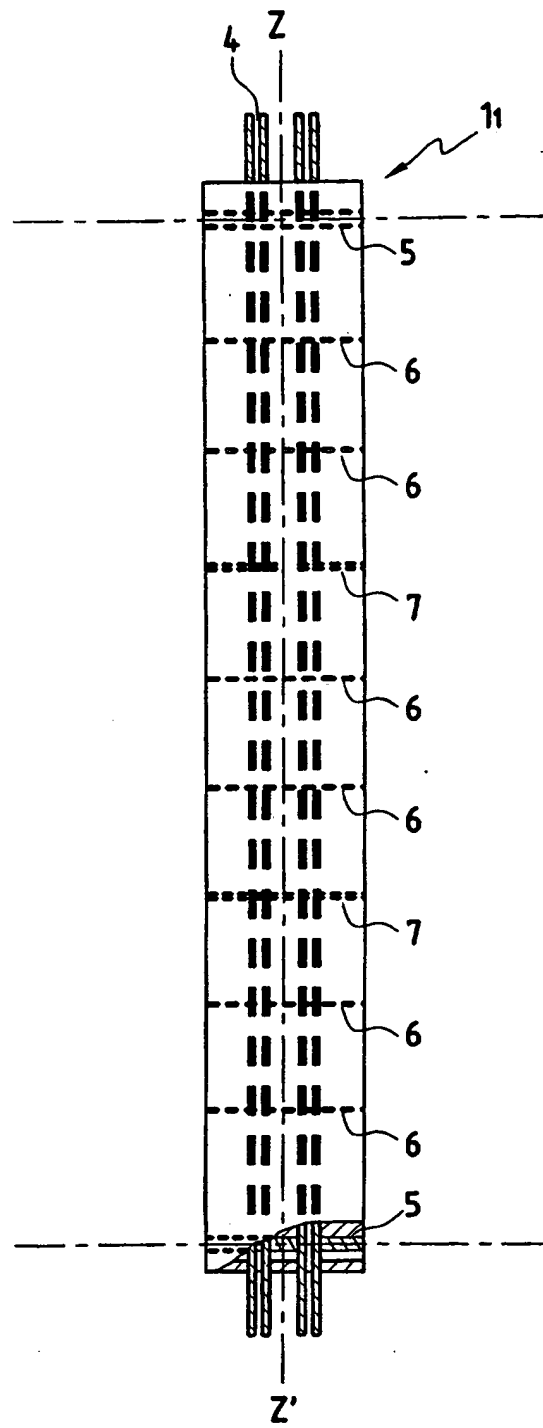


FIG. 14

6/9

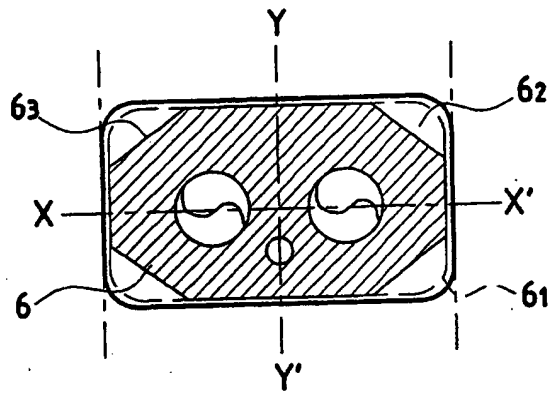


FIG. 15

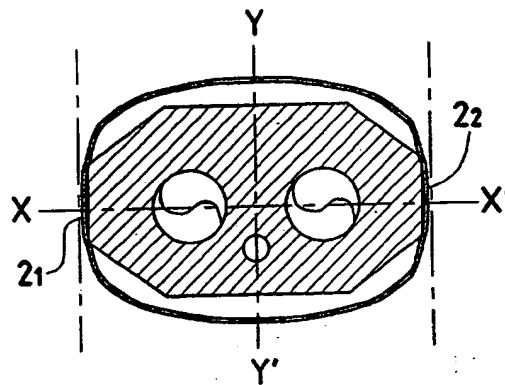


FIG. 16

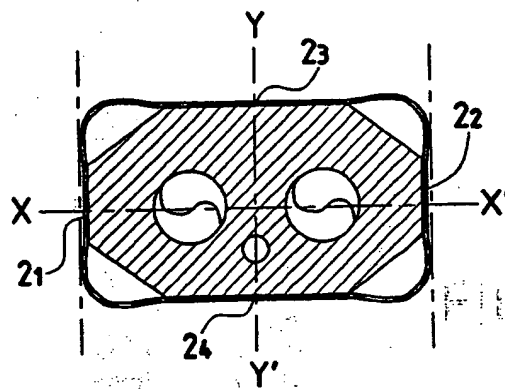


FIG. 17

7/9

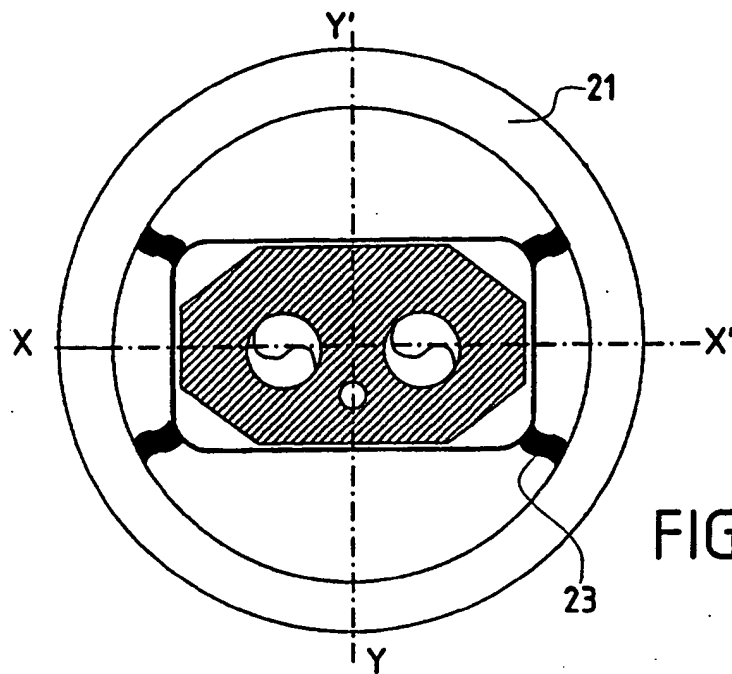


FIG. 18

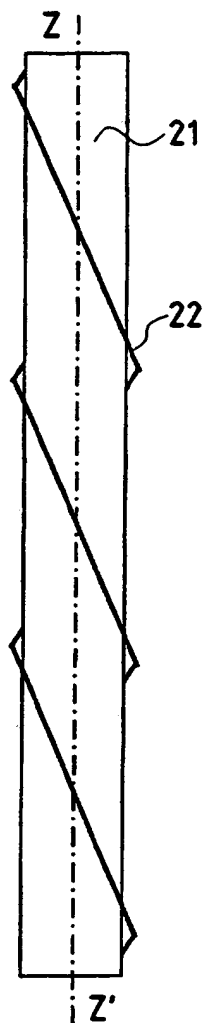


FIG. 19

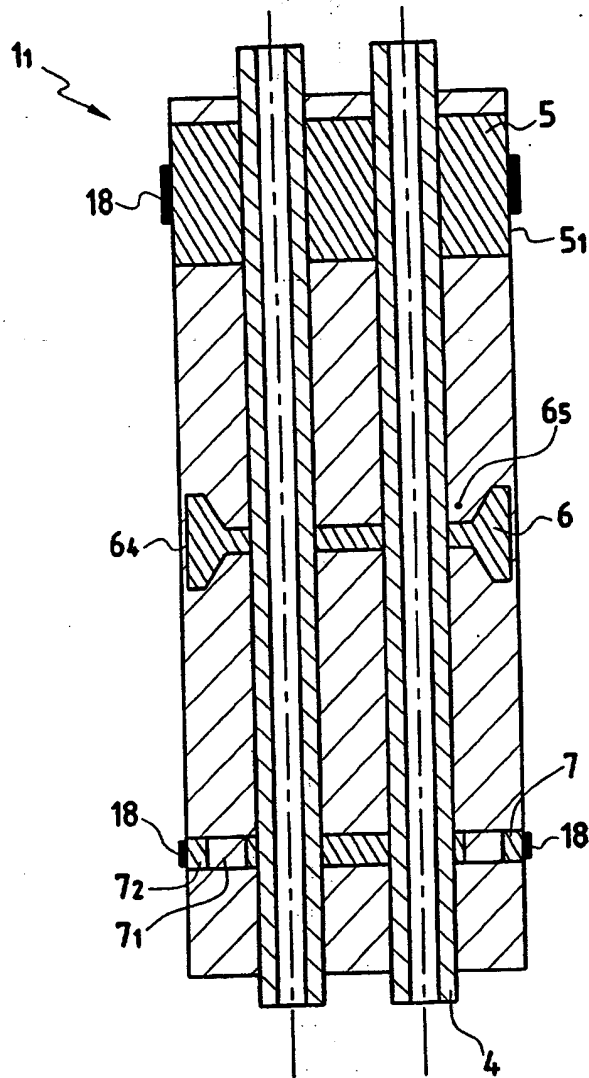


FIG.20

9/9

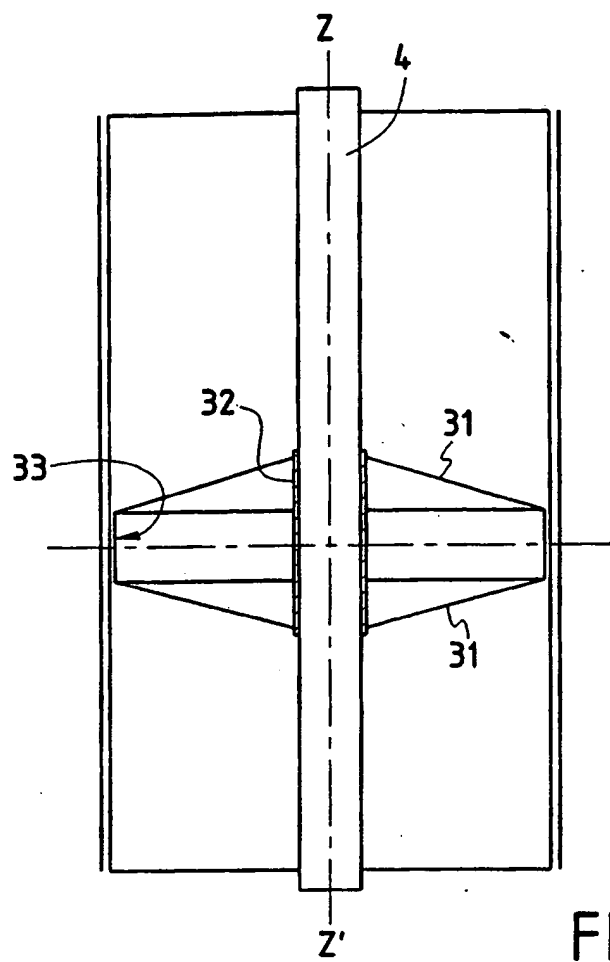


FIG. 21

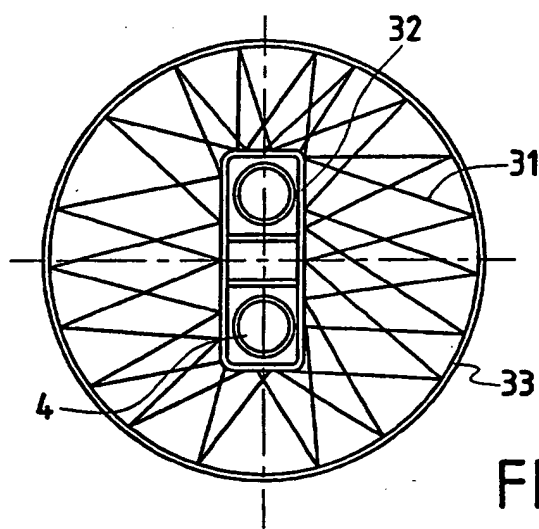


FIG. 22

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2821917

N° d'enregistrement  
national

FA 600238  
FR 0103208

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 0 400 689 A (INST FRANCAIS DU PETROL ;COFLEXIP (FR)) 5 décembre 1990 (1990-12-05)	1-3,14, 15	F16L59/14
A	* abrégé; figures 6-9 * * colonne 4, ligne 35-43 * * colonne 5, ligne 54-57 * * colonne 6, ligne 41-46 *	9,12	
X	GB 2 263 752 A (CORBISHLEY TERENCE JEFFREY) 4 août 1993 (1993-08-04)	1,2,4, 9-11,14, 15,18, 20,21 5-7,12, 19	
A	* abrégé; figures 1,3,7 *  * page 5, alinéa 4 - page 6, alinéa 3 * * page 8, alinéa 3 * * page 10, alinéa 2 *		
X	DE 25 18 940 A (KAEFER ISOLIERTECHNIK) 11 novembre 1976 (1976-11-11) * page 4-9; figure 1 *	1,2,4, 14,15,20	
D,A	WO 00 40886 A (BOUYGUES OFFSHORE ;BAYLOT MICHEL (FR); ROCHER XAVIER (FR); HALLOT) 13 juillet 2000 (2000-07-13) * abrégé; figures 1,2A,2B,4A,4B,4C,6,7,10,12 * * page 7, ligne 21 - page 8, ligne 15 * * page 9, ligne 26 - page 10, ligne 3 * * page 14, ligne 28-32 * * page 15, ligne 27-29 * * page 16, ligne 6-8 * * page 16, ligne 25 - page 17, ligne 18 *	8,16,17, 22	F16L
A	FR 1 396 851 A (MEIER-SCHENK M A) 4 août 1965 (1965-08-04) * figure 3 *	13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 novembre 2001		Maukonen, K	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0103208 FA 600238**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 21-11-2001.  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française.

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0400689	A	05-12-1990	FR 2563608 A1	31-10-1985
			EP 0400689 A1	05-12-1990
			BR 8506689 A	15-04-1986
			CA 1337119 A1	26-09-1995
			DE 3584389 D1	21-11-1991
			DE 3588110 D1	18-07-1996
			DE 162760 T1	04-09-1986
			EP 0162760 A1	27-11-1985
			ES 543112 D0	16-05-1986
			ES 8606938 A1	16-10-1986
			WO 8504941 A1	07-11-1985
			JP 8030560 B	27-03-1996
			JP 62500463 T	26-02-1987
			NO 855272 A	14-02-1986
			NO 168909 B	06-01-1992
			NO 301908 B1	22-12-1997
			US 5722462 A	03-03-1998
			US 4921018 A	01-05-1990
GB 2263752	A	04-08-1993	AUCUN	
DE 2518940	A	11-11-1976	DE 2518940 A1	11-11-1976
WO 0040886	A	13-07-2000	FR 2788100 A1	07-07-2000
			FR 2788831 A1	28-07-2000
			AU 3049700 A	24-07-2000
			BR 9908377 A	31-10-2000
			CN 1292074 T	18-04-2001
			EP 1058800 A1	13-12-2000
			WO 0040886 A1	13-07-2000
FR 1396851	A	04-08-1965	AUCUN	

EPO FORM P0465

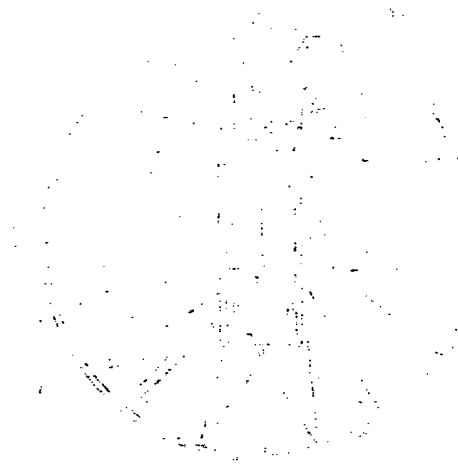


FIG. 22



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**